

EL SOPORTE MULTIORGÁNICO EN EL PACIENTE CON RETENCIÓN DE CO₂.

Dra. Alejandra Molano

Médico Internista, nefróloga crítica en la Fundación Cardio infantil, Bogotá, Colombia. Coordinadora posgrado de nefrología en la Universidad del Rosario

Dra. Lilia Rizo

Médico Internista, nefróloga crítica, Profesor Adscrito al servicio de nefrología, Hospital Universitario "José Eleuterio González". Monterrey, México.

El paciente críticamente enfermo frecuentemente presenta síndrome de disfunción orgánica múltiple (SDOM), siendo la lesión renal aguda una de las más comunes. En muchas ocasiones esta es secundaria a falla de otro órgano, y una de las que ha sido más recientemente descritas es la interconexión pulmón-riñón, o "CrossTalk lung-kidney".

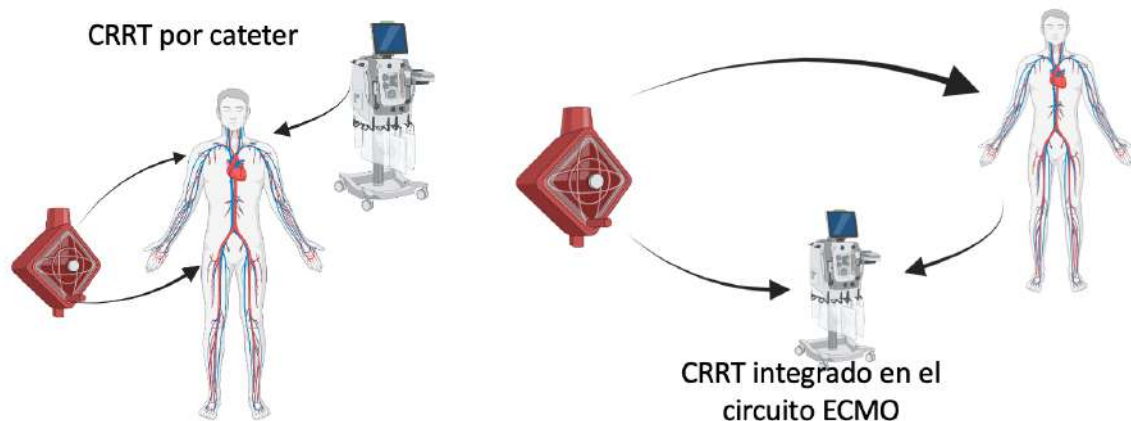
La era COVID-19 nos obligó a hacer uso de todas las herramientas posibles para ofrecer oportunidades de vida, utilizando las terapias de soporte extracorpóreo en múltiples combinaciones.

Estas existen para reemplazar temporalmente la función de órganos vitales, esperando que permitan al órgano recuperarse, pero algunas veces se requiere como soporte de transición, como es el caso del trasplante pulmonar o cardiaco.

En aquellos pacientes en la que se requerirá alguna otra terapia extracorpórea además del soporte renal, la terapia de reemplazo renal continua (TRRC) se recomienda en sistemas integrales sobre los paralelos, como el circuito ECMO.

Figura 1

Integración de TRRC en ECMO



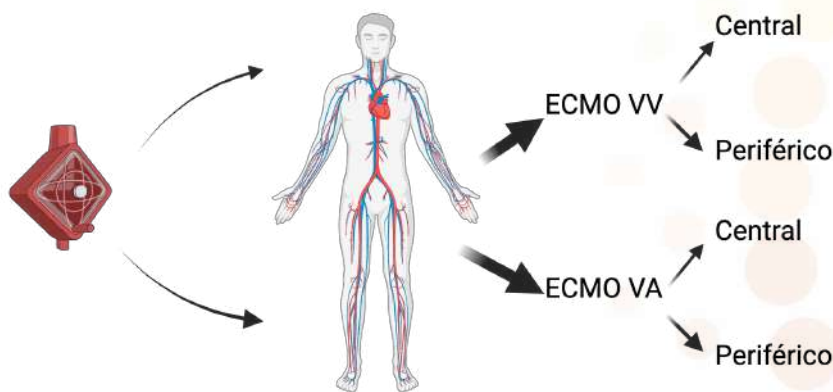
La evolución de los soportes extracorpóreos ofrece actualmente soporte a los pacientes en SDOM, cirugía cardíaca o trasplante.

Continuando con el ejemplo de los pacientes con COVID-19 y SDOM sin duda en este tipo de pacientes la falla pulmonar era el principal disparador.

Bajo este escenario clínico, diversos centros que contaban con equipos de Membrana de Oxigenación Extracorpórea (ECMO) pudieron dar ese soporte. El ECMO para soporte cardíaco en la asistencia cardiocirculatoria se ofrece como ECMO veno-arterial (ECMO-VA) que da soporte circulatorio esperando realizar una entrega de oxigenación adecuada que permita mejoría en la perfusión tisular en pacientes con falla cardíaca reversible. El ECMO veno-venoso (ECMO-VV) permite la oxigenación extracorpórea dando soporte pulmonar durante la falla respiratoria aguda. El ECMO VV remueve sangre desoxigenada de la vena cava y pasa a través de la membrana de oxigenación extracorpórea para regresar la sangre oxigenada a la aurícula derecha. Figura 2.

Figura 2

Configuración de ECMO:



Una de las complicaciones principales de estos pacientes con falla pulmonar y SIRA severo es la retención de CO₂, de tal forma que al día de hoy a estos pacientes podríamos ofrecer una nueva tecnología que nos permite a través de una plataforma de TRRC realizar este tratamiento.

Eliminación extracorpórea de CO₂ (ECCO₂R)

La eliminación extracorpórea de CO₂ (ECCO₂R) es una técnica de soporte ventilatorio que se utiliza para eliminar dióxido de carbono (CO₂) de la sangre.

La ECCO₂R funciona pasando sangre a través de un circuito extracorpóreo que contiene un oxigenador de membrana. El CO₂ se difunde a través de la membrana y se elimina de la sangre, mientras que el oxígeno se difunde en la sangre.

Fundamentos fisiológicos y técnicos

La ECCO₂R se basa en los principios de difusión de gases.

La sangre venosa se extrae de un catéter venoso central y se bombea a través del circuito extracorpóreo y de un oxigenador, que es una membrana semipermeable delgada que permite el paso de gases pero no de células sanguíneas ni proteínas.

El CO₂ es un gas pequeño y liviano. Se difunde fácilmente a través de la membrana, mientras que el oxígeno, que es una molécula más grande, no se difunde tan fácilmente. El CO₂ se elimina de la sangre y se libera a la atmósfera. La sangre tratada regresa al paciente por el acceso venoso central.

Ver figura 1

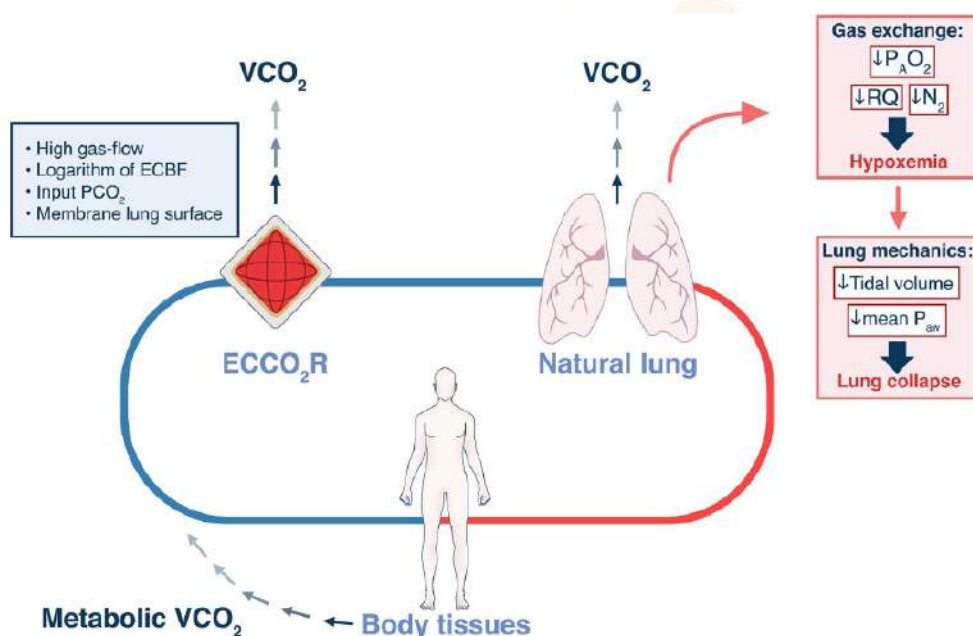


Fig. 1 Physiology of ECCO₂R: The amount of CO₂ removed (VCO₂) by the membrane lung is proportional to the gas-flow, the logarithm of extra-

Tomada de Luciano Gattinoni, Silvia Coppola, Luigi Camporota, <https://doi.org/10.1007/s00134-022-06827-6>

Tipos de sistemas de eliminación extracorpórea de CO₂ (ECCO₂R)

En la actualidad, existen dos tipos principales de sistemas ECCO₂R que se clasifican según el método de oxigenación y la configuración del circuito:

1. Sistemas veno-venosos (VV)

- **Oxigenación por membrana:** La sangre venosa se pasa a través de un oxigenador de membrana, donde se produce el intercambio de gases. El CO₂ se difunde a través de la membrana semipermeable hacia el gas de barrido, mientras que el oxígeno se difunde desde el gas de barrido hacia la sangre.
- **Circuito VV:** La sangre venosa se extrae de un catéter venoso central y se bombea a través del oxigenador de membrana y luego se reinfunde en una vena periférica o central.

Ventajas:

- **Menos invasivo:** No requiere canulación arterial, lo que reduce el riesgo de complicaciones vasculares. El acceso puede ser un catéter de hemodiálisis.
- **Más simple:** El circuito es más sencillo y requiere menos componentes.
- **Portátil:** Los sistemas VV suelen ser más compactos y portátiles, lo que facilita su uso en entornos móviles.

2. Sistemas veno-arteriales (VA)

- **Oxigenación por membrana y bomba pulmonar:** La sangre venosa se pasa a través de un oxigenador de membrana y luego se bombea a través de una bomba pulmonar artificial antes de reinfundirse en la arteria sistémica.
- **Circuito VA:** La sangre venosa se extrae de un catéter venoso central y se bombea a través del oxigenador de membrana y la bomba pulmonar artificial, y luego se reinfunde en la arteria sistémica a través de un catéter arterial.

Ventajas:

- **Mayor capacidad de oxigenación:** Los sistemas VA pueden proporcionar un mayor soporte de oxigenación que los sistemas VV, lo que los hace adecuados para pacientes con insuficiencia respiratoria grave.

La elección del tipo de sistema ECCO₂R depende de la gravedad de la condición del paciente, las necesidades específicas de oxigenación y la disponibilidad de recursos.

Beneficios

La ECCO2R tiene varios beneficios sobre otras formas de soporte respiratorio, como la ventilación mecánica. Estos beneficios incluyen:

- **Mejora la eliminación de CO2**
- **Reduce la necesidad de sedación**
- **Disminuye el riesgo de barotrauma y de lesiones pulmonares inducidas por ventilación invasiva (VILI)**

Indicaciones

La evidencia científica que respalda el uso de la ECCO2R en diversas condiciones de insuficiencia respiratoria grave ha aumentado en los últimos años. Numerosos estudios clínicos han demostrado la eficacia de la ECCO2R en la mejora de la oxigenación, la eliminación de CO2, la reducción de la mortalidad y la disminución de las complicaciones asociadas a la ventilación mecánica convencional.

Las causas más comunes de insuficiencia respiratoria que pueden beneficiarse de la ECCO2R incluyen:

1. Síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA): Un metaanálisis de 17 estudios aleatorizados controlados encontró que la ECCO2R redujo la mortalidad en un 26% en pacientes con SDRA grave en comparación con la ventilación mecánica convencional.

Ventajas de la ECCO2R en el SDRA:

- **Mejora la oxigenación:** La ECCO2R elimina el CO2 de manera más eficiente que la VMC, permitiendo reducir la presión inspiratoria y mejorar la oxigenación arterial sin aumentar el riesgo de barotrauma pulmonar.
- **Disminuye la carga ventilatoria:** Al reducir la necesidad de presión inspiratoria elevada, la ECCO2R protege los pulmones del daño inducido por el ventilador y permite una ventilación más protectora.
- **Mejora la compliance pulmonar:** La ECCO2R puede ayudar a mejorar la compliance pulmonar, lo que facilita la mecánica respiratoria y reduce el trabajo respiratorio del paciente.
- **Reduce la mortalidad:** Estudios clínicos han demostrado que la ECCO2R puede reducir la mortalidad en pacientes con SDRA grave en comparación con la VMC convencional.
- **Disminuye el riesgo de complicaciones:** La ECCO2R puede reducir el riesgo de complicaciones asociadas a la VMC, como neumotórax, barotrauma y lesión pulmonar inducida por el ventilador.

2. Enfermedad pulmonar obstructiva crónica descompensada: ECCO2R reduce la necesidad de ventilación mecánica invasiva y el tiempo en ventilación mecánica.

Evidencia a favor de la ECCO2R en la EPOC descompensada:

- **Mejora la oxigenación:** La ECCO2R elimina el CO2 de manera más eficiente que la VMC, permitiendo reducir la presión inspiratoria y mejorar la oxigenación arterial sin aumentar el riesgo de barotrauma pulmonar.
- **Disminuye la carga ventilatoria:** Al reducir la necesidad de presión inspiratoria elevada, la ECCO2R protege los pulmones del daño inducido por el ventilador y permite una ventilación más protectora.
- **Mejora la compliance pulmonar:** La ECCO2R puede ayudar a mejorar la compliance pulmonar, lo que facilita la mecánica respiratoria y reduce el trabajo respiratorio del paciente.
- **Reduce la mortalidad:** Estudios clínicos han demostrado que la ECCO2R puede reducir la mortalidad en pacientes con EPOC descompensada grave en comparación con la VMC convencional.
- **Disminuye el riesgo de complicaciones:** La ECCO2R puede reducir el riesgo de complicaciones asociadas a la VMC, como neumotórax, barotrauma y lesión pulmonar inducida por el ventilador.
- **Estudio clínico aleatorizado:** Un estudio aleatorizado controlado comparó la ECCO2R con la VMC convencional en pacientes con EPOC descompensada grave. El estudio encontró que la ECCO2R redujo la mortalidad a los 90 días y mejoró la oxigenación arterial sin aumentar el riesgo de complicaciones graves.
- **Metaanálisis:** Un metaanálisis de 11 estudios observacionales encontró que la ECCO2R se asoció con una reducción de la mortalidad en pacientes con

3. Estado asmático severo

Un estudio de casos y series describió el uso exitoso de ECCO2R en pacientes con estado asmático refractario a tratamiento convencional.

4. Puente a trasplante pulmonar:

Reduce la intensidad ventilatoria para promover la ventilación espontánea, evitando la VM. En falla ventilatoria hipercápnica, puede ser **alternativa a VMI**.

Contraindicaciones de la remoción extracorpórea de CO2:

- Hemorragia activa o contraindicación para uso de anticoagulación del circuito extracorpóreo.
- Plaquetas < 75,000/mm³
- Traumatismo craneoencefálico grave
- Quemaduras graves

Complicaciones potenciales de la remoción extracorpórea de CO2:

Las complicaciones de la ECCO2R incluyen:

Las relacionadas con la anticoagulación: Se requiere anticoagulación con heparina con metas de TPT de 1,5 a 2 veces el control para asegurar la funcionalidad del circuito de ECCO2R.

- Sangrado, de predominio intracraneal, gastrointestinal
- Trombocitopenia inducida por heparina

Las relacionadas con el acceso vascular

- Sangrado
- Neumotórax, hemotórax
- Infección asociada a catéter
- Trombosis venosa

Relacionadas con el circuito

- Embolismo aéreo
- Fugas de aire
- Hemólisis
- Coagulación del circuito
- Hipocalcemia

Bibliografía:

- CJASN 17: 890–901, 2022. doi: <https://doi.org/10.2215/CJN.13341021>
- JAMA June 23/30, 2020 Volume 323, Number 24
- Ostermann M, Lumlertgul N. Acute kidney injury in ECMO patients. Crit Care. 2021 Aug 31;25(1):313. doi: 10.1186/s13054-021-03676-5. Erratum in: Crit Care. 2024 Apr 5;28(1):110. doi: 10.1186/s13054-024-04857-8. PMID: 34461966; PMCID: PMC8405346.
- <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35015451/>
- <https://www.mayoclinic.org/departments-centers/ecmo-program/sections/overview/ovc-20484649>
- Giraud, R., Banfi, C., Assouline, B., De Charrière, A., Cecconi, M., & Bendjelid, K. (2021). The use of extracorporeal CO2 removal in acute respiratory failure. *Annals of intensive care*, 11(1), 43. <https://doi.org/10.1186/s13613-021-00824-6>
- Leypoldt JK, Goldstein J, Pouchoulin D, Harenski K. Extracorporeal carbon dioxide removal requirements for ultraprotective mechanical ventilation: Mathematical model predictions. *Artif Organs*. 2020 May;44(5):488-496. doi: 10.1111/aor.13601. Epub 2019 Dec 15. PMID: 31769043; PMCID: PMC7187447. DOI: [10.1111/aor.13601](https://doi.org/10.1111/aor.13601)
- Stommel, AM., Herkner, H., Kienbacher, C.L. *et al.* Effects of extracorporeal CO2 removal on gas exchange and ventilator settings: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care* 28, 146 (2024). <https://doi.org/10.1186/s13054-024-04927-x>
- Karagiannidis et al. *Critical Care* (2019) 23:75 <https://doi.org/10.1186/s13054-019-2367-z>
- Burrell A, Kim J, Alliegro P, Romero L, Serpa Neto A, Mariajoseph F, Hodgson C. Extracorporeal membrane oxygenation for critically ill adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2023, Issue 9. Art. No.: CD010381. DOI: [10.1002/14651858.CD010381.pub3](https://doi.org/10.1002/14651858.CD010381.pub3)
- Zhou, Z., Li, Z., Liu, C., Wang, F., Zhang, L., & Fu, P. (2023). Extracorporeal carbon dioxide removal for patients with acute respiratory failure: a systematic review and meta-analysis. *Annals of medicine*, 55(1), 746–759.

<https://doi.org/10.1080/07853890.2023.2172606>

- Gattinoni, L., Brazzi, L., Carlesso, A., et al. (2010). Randomized controlled trial of the prone position for acute respiratory failure in severe acute respiratory distress syndrome. *The New England journal of medicine*, 362(17), 1671-1684. DOI: [10.1164/rccm.201308-1532CI](https://doi.org/10.1164/rccm.201308-1532CI)
- Mehta, S., Hirsch, L., & Lavee, J. (2016). Extracorporeal membrane oxygenation for pulmonary embolism: a review of the literature. *Respiratory care*, 61(12), 1892-1904.
- **Piquilloud L. (2024). Extracorporeal Carbon Dioxide Removal in Chronic Obstructive Pulmonary Disease: It Depends on the Objective!. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 209(5), 472–473. <https://doi.org/10.1164/rccm.202401-0176ED>**
- Combes A, Fanelli V, Pham T, Ranieri VM; European Society of Intensive Care Medicine Trials Group and the “Strategy of Ultra-Protective lung ventilation with Extracorporeal CO2 Removal for New-Onset moderate to severe ARDS” (SUPERNOVA) investigators. Feasibility and safety of extracorporeal CO2 removal to enhance protective ventilation in acute respiratory distress syndrome: the SUPERNOVA study. *Intensive Care Med* 2019;45:592–600.
- Bellani, R., La Rosa, M., Liberati, A., et al. (2016). Extracorporeal membrane oxygenation for hypercapnic respiratory failure in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a randomized controlled trial. *The Lancet*, 387(10022), 1153-1162.
- Rilinger J, Krötzsch K, Bemtgen X, Jäckel M, Zotzmann V, Lang CN, Kaier K, Duerschmied D, Supady A, Bode C, Staudacher DL, Wengenmayer T. Long-term survival and health-related quality of life in patients with severe acute respiratory distress syndrome and veno-venous extracorporeal membrane oxygenation support. *Crit Care*. 2021 Nov 29;25(1):410. DOI: [10.1186/s13054-021-03821-0](https://doi.org/10.1186/s13054-021-03821-0)